

Vysoká škola Báňská
Technická univerzita Ostrava

Ondřej Žůrek

Rozbor technologického postupu kování na radiálním kovacím
stroji SMX-800.

Analysis of technological processes forging of radial forging
machine SMX-800.

Bakalářská práce

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra tváření materiálu

Zadání bakalářské práce

Student:

Ondřej Žůrek

Studijní program:

B2109 Metalurgické inženýrství

Studijní obor:

2109R034 Technologie tváření a úpravy materiálu

Téma:

Rozbor technologických postupů kování na radiálním kovacím stroji
SMX-800
Analysis of technological processes forging of radial forging machine
SMX-800.

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Popis zařízení výrobní linky a její technologické možnosti
3. Rozbor technologických parametrů kování vybraných ocelí a slitin niklu
4. Analýza mechanických vlastností výkovků kovaných na radiálním kovacím stroji a na hydraulickém lisu
5. Postupy tepelného zpracování a zkoušení výkovků
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] GHAEI, A., MOVAHHEDY, M. R., KARIMI T. A. Study of the effects of die geometry on deformation in the radial forging process. *J. Mater. Processing Technology*, 2005, Vol. 170, Issue 1-2, pp. 156-163.
- [2] GREGER, M., KIML, K. Kování nástrojových ocelí na radiálních kovacích strojích. *Kovárenství*, 2013, č. 47, s. 37-41.
- [3] LAHOTI, G. D., ALTAN, T. Analysis of the radial forging process for manufacturing of rods and tubes, *ASME J. Eng. Ind.*, 1976, Vol. 98, pp. 265-271.
- [4] YANG, S., SU, Ch., WANG, W. An experimental study of radial forging. *J. Equipment Environmental Engineering*, 1987, Vol. 3, pp. 23-26.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Miroslav Greger, CSc.**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Miroslav Juhas

Datum zadání: 29.11.2013

Datum odevzdání: 30.04.2014

prof. Ing. Jiří Kliber, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 30.5.2014

Andrius Žurek
.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

Anotace:

Tato diplomová práce, řešená ve spolupráci s firmou Vítkovice Hammering a.s., která se zabývá kovááním na radiálním rychlokovacím stroji SMX-800. Na této výrobní lince je možno kovat výkovky kruhového, čtvercového osmihranného tvaru specialitou je možnost kování i dutých výkovku. Ve vývoji je i kování osazených a prosazených výkovku. Firma Vítkovice Hammering se zařadila tímto strojem mezi nejmodernější kováárny na světě a dostala se mezi světové výrobce, kteří dokáží kovat materiály jako je INCONEL 625 nebo různé druhy titanu. Technologie kování těchto materiálů se na kovacím stroji SMX-800 postupně zdokonaluje a to včetně tepelného zpracování těchto speciálních ocelí.

Klíčová slova :.radiálním kovacím stroji SMX-800, INCONEL 625,

Annotation

This thesis, solved in co-operation with company Vítkovice Hammering a.s., is concerned in radial forging on radial forging machine SMX-800. This forging mill is dedicated to forge round, square and octagonal cross section. Advantage is special possibility of tube forgings. In development is a fitting mounted and enforced by forging. Company Vítkovice Hammering became one of the most high-tech forging mills all around the world and placed into world producers which are able to forge materials such as Inconel 625, titanium alloys etc. SMX-800 forging technology of those materials is partly developed including heat treatment of special alloys.

Key words: radial forging machine SMX-800, Inconel 625

OBSAH

1 Úvod	8
2 Popis zařízení výrobní linky	9
2.1 Radiální kovací stroj s přímým olejovým hydraulickým pohonem.....	9
3 Postup výroby na SMX-800 a CKW-1600	12
3.1 Popis postupu výroby na rychlokovací lince (SMX-800)	12
3.2 Provozní režimy kování	12
3.3 Režimy nastavení nástroje	13
3.4 Ovládání procesu	14
4 Postupy kování na rychlokovacím stroji SMX-800 a hydraulickém lise CKW-1600 ingotu V6F o jakosti 19 663	15
4.1 Postup kování na rychlokovacím stroji SMX-800.....	15
4.1.1 Postup kování ingotu V6F z oceli jakosti 19 663 na rychlokovacím stroji SMX-800	15
4.1.2 Výpočet změn při kování ingotu V6F z oceli jakosti 19 663 na rychlokovacím stroji SMX-800	16
4.2 Postup kování na hydraulickém lise CKW-1600.....	17
4.2.1 Postup kování ingotu V6F jakosti 19 663 na hydraulickém lise CKW-1600	18
5 Kování nástrojových ocelí na radiálních strojích	19
5.1.1 Vývoj struktury nástrojových ocelí při kování na radiálních kovacích strojích	19
5.2 Postup kování materiálu Inconel 625.....	24
5.2.1 Výpočet změn při kování materiálu Inconel 625 na rychlokovacím stroji SMX-800	26
6 Polotovary ke kování	28
6.1 Polygonální ingoty V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8	29
7 Popis vad na polotovarech určených pro kování	30
7.1 Vady na povrchu ingotu ovlivněné procesem tuhnutí oceli v kokile. (9).....	33
8 Analýza mechanických vlastností výkovků kovaných na radiálním kovacím stroji a na hydraulickém lisu.	34
9 Tepelné zpracování a zkoušení výkovku	37
9.1 Tepelné zpracování	37
9.1.1 Kalení oceli.....	40
9.1.2 Popouštění oceli.....	41
Zušlechťování ocelí	41
9.2 Zkoušení výkovků.....	42
9.2.1 Zkoušky pevnosti.....	42
10 Závěr	45

1 ÚVOD

Strojírenská skupina VÍTKOVICE MACHINERY GROUP spustila supermoderní rychlokovárnu VÍTKOVICE HAMMERING. Provoz za více než 2 miliardy korun je svými parametry a výkonností ojedinělý nejen v ČR, ale také v měřítku Evropy. Linka rychlokovacího stroje je v České republice největší investicí do tohoto typu strojírenské technologie za posledních dvacet let. (1)

Rychlokovárna je počítačově řízená a vysoce produktivní. Přidaná hodnota je v její vysoké výkonnosti, kvalitě a přesnosti. Rychlokovací stroj je nejmodernější technologií tzv. volného kování v současnosti. Technologie je unikátní hned v několika parametrech. Provoz je plně automatizovaný a zcela počítačově řízený. Efektivita výroby se díky tomu blíží myslitelnému maximu.

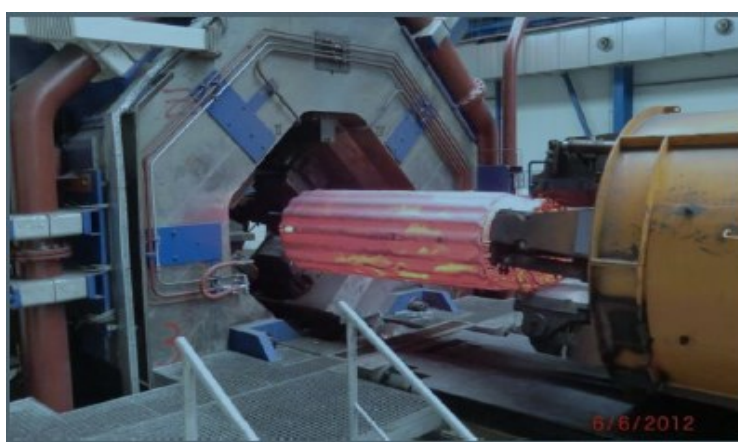
Rychlokovárna tak mimo jiné užívá k vytápění karuselové pece zemní plyn, vysoce úsporné ekologické hořáky mají snížený obsah oxidu dusíku ve spalínách a zbytkové teplo se dále využívá. Provoz navíc téměř nezatěžujeme okolí hlukem. Firma také dokázala skloubit novou halu s nádhernou ocelovou konstrukcí historické budovy lisovny, která byla postavena v roce 1905.

Radiální kovací stroje dokáže uspokojit rostoucí požadavky na legované materiály, přesnost a produktivitu díky inovativní technologii. (1)

2 POPIS ZAŘÍZENÍ VÝROBNÍ LINKY

2.1 RADIÁLNÍ KOVACÍ STROJ S PŘÍMÝM OLEJOVÝM HYDRAULICKÝM POHONEM

Radiální kování je proces kování za tepla nebo za studena, s využitím dvou nebo více radiálně pohyblivých kovadel. Jediná společnost na světě, která dokáže vyřešit veškeré oblasti výroby trubek je SMS-Meer. Nejčastěji se používá pro kování podélných osazených hřídelí, tyčí, trubek, kdy je ale zapotřebí ke kování vnitřního průměru trubky pomoc děrovacího trnu (předkovek dutého tělesa) a následně prodlužování na trnu na rychlokovacím stroji. (2)



Obr. 1 Ingot o hmotnosti 8 tun při kování ve společnosti Vítkovice Hammering (3)



Obr. 2 Výsledný produkt kruhové tyče (3)

Radiální kovací stroj s přímým olejovým hydraulickým pohonem (SMX-800) je automaticky řízený a skládá se z následujících zařízení:

Pomocná zařízení výrobní linky

- Sběrná pec: Maximální teplota 900°C

- Karuselová pec: kapacita 450 t, 5x zóna ohřívací, 1x zóna udržovací, maximální teplota 1300°C, 1x sázecí a 1x vytahovací manipulátor
- Dopravník z možností odokujení (tlaková voda) i duté předkovky maximálně 8000 kg, překladač k rychlokovacímu stroji SMX-800

Zařízení SMX-800

- Největší počáteční průřez kruhový 800 mm.
- Maximální hmotnost 8000 kg
- Maximální kovaná délka 18000 mm
- Minimální průměr výkovku D=135 mm, pravoúhlý průřez 160 mm x 80 mm
- Jmenovitá kovací síla na kovádko je 16-18 MN
- Počet zdvihů – předkování na bloky 60-180 zdvihů za minutu
- Počet zdvihů – hotové kování 150-220 zdvihů za minutu

Kovací manipulátory

- Maximální hmotnost kovaného polotovaru 8000 kg
- Maximální délka pojezdu 18000 mm

Kovací nářadí

Rychlokovací stroj má sedm sad kovádel:

- 3 sady nástrojů pro výkovky kruhového průřezu
- 3 sady nástrojů pro výkovky pravoúhlého průřezu
- 1 sadu nástrojů pro duté výkovky

Dopravník

- Maximální hmotnost polotovaru 8000 kg,
- Překladač k pile za tepla

Středící zařízení

Obě strany kovací jednotky mají středící zařízení. Dále tam jsou centrovací kleště, které slouží pro vedení obrobku v jeho správné ose mezi kovádkou a k podpoře obrobků, když opouští kovádku. Jsou poháněny hydraulicky.

Pro podepření dlouhých obrobků slouží podpěry, které jsou upevněny na kolejích manipulátoru. Slouží také k podepření konce obrobků, když je potřebujeme posunout. Dále je rychlokovací stroj vybavený manipulačním zařízením, které se skládá z nakládací točnice, nakládací a odsunovací jednotky a přívodním a odváděcím válečkovým dopravníkem.

Tab. 1 Tolerance kování rozměrů výkovků (4)

Tolerance kování pro kování tyčí-a trubek	mm
Průměrná celková tolerance kování pro tyče 100 až 200 mm	(+/-) 1,0-1,5
Průměrná celková tolerance kování pro tyče 200 až 300 mm	(+/-) 1,5-2,0
Průměrná celková tolerance kování pro tyče 300 až 500 mm	(+/-) 2,0-2,5
Excentricita pro kování trubek	0-2,5

Tab. 2 Technická data kovaného sortimentu (5)

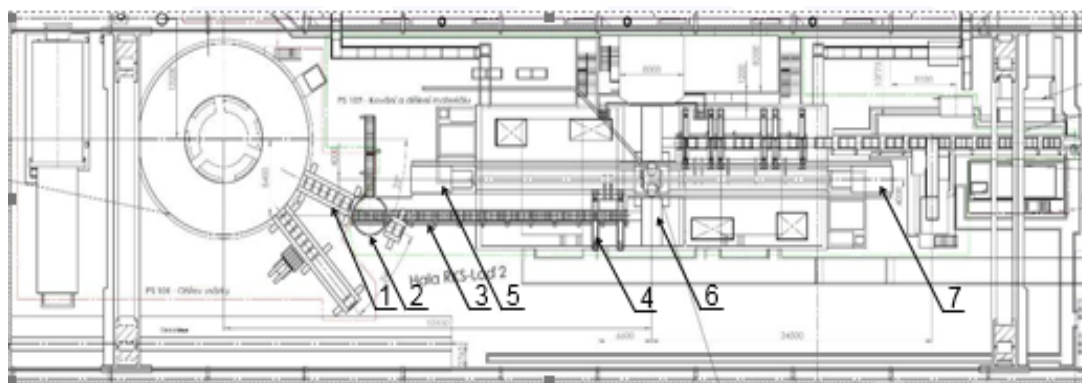
Parametry ingotů a sochorů před kováním		
Největší počáteční průměr kruhový (ocel)	800	mm
Největší počáteční průměr čtvercový (ocel)	550	mm
Největší počáteční délka úhlopříčky pro čtvercové ingoty max.	800	mm
Minimální počáteční délka	1000	mm
Maximální počáteční délka	3900	mm
Max. hmotnost výkovku až do	8000	kg
Konečné rozměry výrobku		
Maximální průměr: Kruhové tyče	450	mm
Minimální průměr: Kruhové tyče	135	mm
Maximum: Čtvercové tyče	450	mm
Minimum: Čtvercové tyče	165	mm
Ploché tyče soch : max. šířka (Limit = 16-18 MN a min. výška = 200 mm)	450	mm
Ploché tyče: Minimální tloušťka	80	mm
Max. poměr: šířka / tloušťka	6:1	
Minimální délka kované tyče	3000	mm
Maximální délka kované tyče	18000	mm

3 POSTUP VÝROBY NA SMX-800 A CKW-1600

3.1 POPIS POSTUPU VÝROBY NA RYCHLOKOVACÍ LINCE (SMX-800)

Ohřátý polotovár z karuselové pece je dodán sázecím strojem 1 na otočný stůl 2 přísunového dopravníku 3. Po otočení z přísunového úhlu na přísunový dopravník 3 je ingot automaticky dopraven do sázecí polohy. Nakládací zařízení 4 zvedne ingot pro automatický přísun manipulátoru A5. Poté, co nakládací zařízení 4 překývne zpět, manipulátor A5 zajede s ingotem mezi kovádla rychlokovacího stroje 6.

Čtyři kovádla se rovnoměrně pohybují ze všech stran k ose kování a pronikají do kovaného kusu. Tím zůstává kovaný materiál v průběhu celého procesu kování ve středu osy kování a je prodlužován s minimálním šířením, u kování je potlačeno šíření ve prospěch prodloužení materiálu ve výkovku



Obr. 1 1-sázecí stroj, 2-otočný stůl, 3-dopravník, 4-nakládací zařízení, 5-manipulátor A, 6-rychlokovadlo, 7-manipulátor B

Obr. 3 Rychlokovací linka ve Vítkovicích Hammering (5)

Výkovek po vykování je ošetřen buďto vychlazením na vzduchu, nebo následným tepelným zpracováním. Toto je rozlišeno dle jakosti materiálu výkovku. Po vychlazení povrchu výkovku proběhne otryskání povrchu výkovku na tryskacím stroji. Po otryskání se vykovaná tyč vizuálně kontroluje na případné povrchové trhliny. V případě jejich nálezu je trhlina vybroušená k jejímu kořenu. Za přípustnou je považována trhlina, která nezasahuje do čistého rozměru, zjednodušeně můžeme říct, že odpovídá kovacím přídávkům a tolerancím.

3.2 PROVOZNÍ REŽIMY KOVÁNÍ

Rychlokovací stroj může pracovat v následujících režimech:

- a) Ruční provozní režim

b) Automatický provozní režim

Ad.a)

Veškeré funkce kovacího stroje, manipulátoru, nakládacího zařízení a válečkových dopravníků mohou být ručně ovládány pomocí tlačítek nebo joystickem na řídicím panelu. Pro přesun do základní polohy nastavování, testování a jiné ruční operace může být aktivována kterákoliv funkce kovacího stroje, manipulátoru, nakládacího a odsunového zařízení. Kovací program Editor, dodaný firmou SMS-MEER, kde je možnost ručně definovat kovací polohu, velikost posuvu, úhel natočení a další parametry detailně definuje funkce kovacího stroje, manipulátoru, podpěrných a středících válců.

V případě operací kování lze použít některé ruční režimy v kombinaci s automatickým provozem. Toto se používá, například když musí být naloženy nebo odsunuty nestandardní ingoty. Při ručním přísunu a nasazení manipulátoru je možné spustit následující sekvenci v automatickém provozním režimu.

Ad. b)

V automatickém provozním režimu jsou odblokovány všechny voliče provozního režimu pro automatické sekvence naložení, kování, až po odsun kovaného materiálu není zapotřebí žádný zásah operátora.

Rozměry ingotů, konečné rozměry a parametry každého úběru jsou definovány v úběrovém plánu. Kovací program Comforge dodaný firmou SMS-MEER, kde je definována kovací poloha, velikost posuvu, úhel natočení a další parametry detailně definují funkce kovacího stroje, manipulátoru, podpěrných a středících válců.

Pro některé důležité parametry může operátor proces ručně optimalizovat, na základě profesních zkušeností, například zvýšením nebo snížením rychlosti manipulátoru. Ovladačem manipulátoru může být přepsána žádaná hodnota rychlosti kování.

3.3 REŽIMY NASTAVENÍ NÁSTROJE

Nastavení kovadel provádíme:

- a) Synchronní nastavení kovadel – pro výkovky kruhového průřezu. Všechna čtyři kovadla se nastavují synchronně.
- b) Nastavení kovadel v párech – pro výkovky kvadratového průřezu

Každý pár kovadel se nastavuje individuálně.

Pro nastavení pracovních nástrojů na správný rozměr kování je důležité použít kalibrovaný sochor. Kovadla se pohybují směrem k tomuto sochoru s přednastaveným nízkým tlakem. Když se kovadla dotknou sochoru, průměr kalibračního kusu udává referenční bod pro měření zdvihu. Kalibrační sochor se nakládá i odsunuje stejným postupem, jako se do kovacího stroje zavádí kovaný sochor a je uschován v zařízení nad přiváděcím dopravníkem.

3.4 OVLÁDÁNÍ PROCESU

Software obsahuje veškeré potřebné informace, které jsou zapotřebí k řízení stroje. U kování na tomto stroji lze použít již existující kovací plán a optimalizovat ho pro nový úběrový plán kování.

Systém nám dokáže zobrazit parametry stroje a procesu kování. Veškerá data jsou zobrazována na obrazovce počítače v řídicím pultu. Na obrazovce se ukazují aktuální hodnoty nastavení procesu kování.

Software pro výpočet úběrového plánu se nazývá Comforge. Pomocí tohoto softwaru můžeme nadefinovat postup kování nezávisle na daném procesu.

Základním vstupem pro výpočet úběrového plánu jsou následující parametry:

- geometrické parametry: velikost polotovaru, velikost konečného výkovku
- parametry, vázané na stroj; rozměry a tvar kovadel vztažené na konečný rozměr výkovku a vstupní materiál
- parametry, vázané na materiál: definování jakosti materiálu, jeho tváritelnost a skupina náhřevu (ocel: uhlíková, nástrojová, nerezové materiály INCONEL atd.)
- parametry, vázané na proces: definování úběru a záběru do kovaného materiálu, určené prodloužení materiálu v rámci kovací operace

Pomocí těchto dat můžeme na počítači proces kování nasimulovat. Aplikací tohoto softwarového systému bude možné sestavit program kování pouze s malým objemem vstupních dat. Program kování je také možné modifikovat v průběhu procesu kování přímo z řídicího pultu. Do existujícího programu lze kdykoliv integrovat nové hodnoty na základě zkušeností. Program výkovku může být uložen na disketu nebo hard disk.

4 POSTUPY KOVÁNÍ NA RYCHLOKOVACÍM STROJI SMX-800 A HYDRAULICKÉM LISE CKW-1600 INGOTU V6F O JAKOSTI 19 663

4.1 POSTUP KOVÁNÍ NA RYCHLOKOVACÍM STROJI SMX-800

Celý postup kování na rychlokovacím stroji nám začíná dovozem odlitého ingotu z ocelárny. Ingot vložíme do sběrné pece, kde probíhá přehřev materiálů. Dále se doveze do karuselové pece, kde probíhá náhřev ingotu na požadovanou kovací teplotu. Další postup probíhá překováním ingotu na požadovaný rozměr. Tato operace probíhá na jeden ohřev. Postup kování je naprogramován v programu Comforge, kde je definována kovací poloha, velikost posuvu, úhel natočení a další parametry. Úběry detailně definují funkce kovacího stroje, manipulátoru, podpěrných a středících válců. Dále probíhá odřezání technologického odpadu na kotoučové pile a odeslání výkovku na pracoviště kalírny, kde probíhají ošetření po kování respektive tepelné zpracování. Tepelné zpracování probíhá podle požadavku odběratele.

4.1.1 POSTUP KOVÁNÍ INGOTU V6F Z OCELI JAKOSTI 19 663 NA RYCHLOKOVACÍM STROJI SMX-800

Charakteristika oceli: Jedná se o nástrojovou ocel pro práci za tepla.

Tab. 3 Chemické složení oceli jakosti 19 663 (v hm. %) (6)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V
0,50-0,60	0,10-0,40	0,65-0,95	0,030	0,030	1,00-1,20	0,45-0,55	1,50-1,80	0,07-0,12

Tab. 4 Doporučené teploty intervalu kovacích teplot, žíhaní, kalení a popouštění (6)

Kování [°C]	Žíhaní na měkko [°C]	Kalení [°C]	popouštění [°C]
850-1050	680-710	840-870 olej	400-650 vzduch, olej

Zkouška tvrdosti: HB maximálně 248, HRC minimálně 44 (kaleno do oleje a popouštěno). Užitečná tvrdost je v rozmezí 1180-1770 MPa.

Tab. 5 Postup kování ingotu V6F na SMX-800

Průchody	D0_12 [mm]	D0_34 [mm]	D1_12 [mm]	D1_34 [mm]	LO [mm]	Stupeň prodloužení
1	725,0	725,0	725,0	725,0	1650,0	1,00
2	820,0	820,0	700,0	700,0	1650,0	1,09
3	820,0	820,0	700,0	700,0	1650,0	1,09
4	760,0	760,0	626,1	626,1	2179,5	1,25
5	666,1	666,1	549,1	549,1	2833,3	1,30
6	589,1	589,1	479,8	479,8	3711,5	1,31
7	519,8	519,8	419,2	419,2	4862,0	1,31
8	459,2	459,2	366,3	366,3	6369,0	1,31
9	406,3	406,3	320,0	320,0	8343,2	1,31
10	340,0	340,0	320,0	320,0	8343,2	1,00

4.1.2 VÝPOČET ZMĚN PŘI KOVÁNÍ INGOTU V6F Z OCELI JAKOSTI 19 663 NA RYCHLOKOVACÍM STROJI SMX-800

Výpočet se provedl podle jednotlivých vzorců:

$$\Delta h = D_0 - D_1 \text{ [mm]} \quad (1)$$

$$\varepsilon_h = \frac{D_0 - D_1}{D_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{D_1}{D_0} \quad (3)$$

Kde Δh je velikost absolutního úběru, v jednotlivých průchozech, D_0 je počáteční průměr a D_1 je průměr po kování (1) . Pomocí vzorce č. (2) vypočítáme poměrnou deformaci, kterou vyjádříme v procentech. Vzorec č. (3) nám vyjádří nárůst délky po každém průchodu.

Tab. 6 Udávající vypočítané hodnoty, při kterých se mění tvar materiálu

Průchody	Absolutní úběr [mm]	Poměrná deformace [%]	Prodloužení
1	Kalibrace stroje		
2	Sražení hran		
3	Sražení hran		
4	73,9	10,55	1,25
5	77	12,29	1,30
6	69,3	12,62	1,31
7	60,6	21,63	1,31
8	52,9	12,63	1,31
9	46	12,63	1,31
10	0	0	1,00

Proces začíná vsazením ingotu, který byl dodán v teplém stavu (teplota polotovaru neklesla pod 550°C), do karuselové pece s teplotou 700°C , potom následuje spuštění procesu náhřevů přes jednotlivé teplotní zóny pece. Následuje náhřev na teplotu 850 °C s výdrží 2,5 hodiny. Náhřev na horní kovací teplotu probíhá postupným řízeným zvyšováním teploty v jednotlivých teplotních zónách až na horní kovací teplotu 1150°C s výdrží na teplotě minimálně 3,5 hodiny. Maximální doba kdy může ingot na horní kovací teplotě být je 18 hodin.

Překování ingotu na požadovaný rozměr průměr D=320 mm probíhá na jeden ohřev. Odřezání technologických odpadů na kotoučové pile. Odeslání výkovků na pracoviště kalírny, kde je výkovek ošetřen dle technologického předpisu. Další postup tepelného zpracování dle požadavku odběratele.

4.2 POSTUP KOVÁNÍ NA HYDRAULICKÉM LISE CKW-1600

Ohřátý polotovár z výjezdne kovárenské pece je dodán jeřábem na ingotový vůz, který je součástí manipulátoru QKK 12. Po Uchopení polotovaru do čelisti manipulátoru QKK 12 za pomoci ingotového vozu je polotovár manipulátorem

dopraven po kolejišti kovacího manipulátoru pod lis CKW 1600. Lis CKW 1600 je osazen horním a spodní kovádkem, pro předkovy rovným horním a rovným spodním což platí i pro kování kvadrátu nebo 8-hranu, pro kování kruhového průřezu je spodní kovádko vyměněno za úhlové (tvar rozevřeného písmena V). Po vykování polotovaru na požadovaný rozměr dochází ke kovářskému odseku technologických odpadů. Jedná se odseknutí hlavové části ingotu („A" konec, čep, hlava ingotu) a patní části („Z" konec , pata ingotu) . Následuje odvoz výrobku na tepelné zpracování výrobku po kování na pracoviště kalírna .

4.2.1 POSTUP KOVÁNÍ INGOTU V6F JAKOSTI 19 663 NA HYDRAULICKÉM LISE CKW-1600

Proces začíná vsazením ingotu, který byl dodán v teplém stavu (teplota polotovaru neklesla pod 550°C), kovárenské vozové pece s teplotou 700°C ,kde následuje prodleva na sázecí teplotě 3 hodiny, následuje náhřev na teplotu 850 °C s výdrží 2,5 hodiny. Na horní kovací teplotu 1150°C se postupně dostaneme za 3 hodiny s výdrží na teplotě 3,5 hodiny. Maximální doba kdy může ingot na horní kovací teplotě být je 18 hodin .

5 KOVÁNÍ NÁSTROJOVÝCH OCELÍ NA RADIÁLNÍCH STROJÍCH

Základními požadavky na nástrojové oceli jsou: tvrdost, pevnost, houževnatost, řezivost, odolnost proti opotřebení, prokalitelnost a stálost rozměrů. Uvedené vlastnosti nelze dosáhnout u jednoho typu materiálu. Obvykle je nezbytné volit kompromis mezi navzájem protichůdnými vlastnostmi, jako např. mezi tvrdostí a houževnatostí. Dominantní požadavky na vlastnosti jsou obvykle zajištěny chemickým složením materiálu. Další přísady zmírňují negativní vliv hlavních přísad na ostatní vlastnosti. K nejdůležitějším legovacím prvkům nástrojových ocelí patří: uhlík, mangan, křemík, chrom, nikl, molybden, wolfram a vanad, (kobalt). Doprovodné prvky fosfor a síra snižují vlastnosti a řadíme je mezi nečistoty. (7)

Nástrojové oceli se vyznačují vysokým deformačním odporem a nízkou tvařitelností. Vysoký deformační odpor, snížená tvařitelnost a nerovnoměrná deformace přispívají ke vzniku povrchových a vnitřních trhlin a při nízkých dokovacích teplotách oceli výrazně zpevňují. Zpevnění a snížení tvařitelnosti je tím větší, čím je deformační rychlost vyšší. Jedním z rozhodujících činitelů, který ovlivňuje deformační odpor a tvařitelnost, je stav napjatosti ovlivňující podmínky kování. (7)

5.1.1 VÝVOJ STRUKTURY NÁSTROJOVÝCH OCELÍ PŘI KOVÁNÍ NA RADIÁLNÍCH KOVACÍCH STROJÍCH

Při kování jsou nástrojové oceli charakterizovány vyšším deformačním odporem. Ten závisí především na struktuře oceli, kterou, v podstatě určuje chemické složení. Je proto žádoucí, aby obsahy hlavních slitinových prvků byly u každé značky oceli udržovány v úzkém rozmezí a obsahy doprovodných a stopových prvků, které mají vliv na vlastnosti a zejména pak na tvařitelnost, byly omezeny.

V porovnání s konstrukčními oceli vyžadují nástrojové oceli při kování podélných výkovků vyšší stupeň prokování než je vyjádřeno rovnicí:

$$PK = A^n \cdot P^n \cdot K \geq 3 \quad (4) \text{ Stupeň prokování (7)}$$

Pokud při kování podélných výkovků se nevyužije operace pēchování, tak se rovnice (4) transformuje do tvaru:

$$PK \equiv K \geq 3 \quad (5) \text{ Stupeň prokování bez využití pēchování (7)}$$

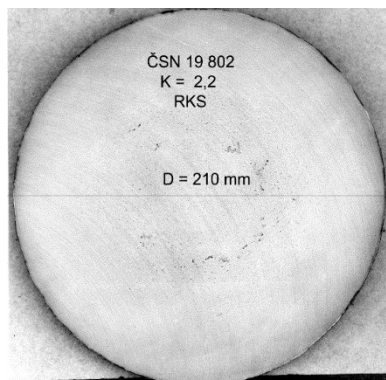
Stupeň prokování $K \geq 3$ zajišťuje, že v ingotu došlo k uzavření vnitřních nečelistvostí a rozrušení lici struktury [5]. U nástrojových ocelí se však požaduje zjemnění karbidů, což vyžaduje stupeň prokování vyšší.

Tab. 7 Rozměry ingotu, výkovku a stupeň prokování nástrojových ocelí (7)

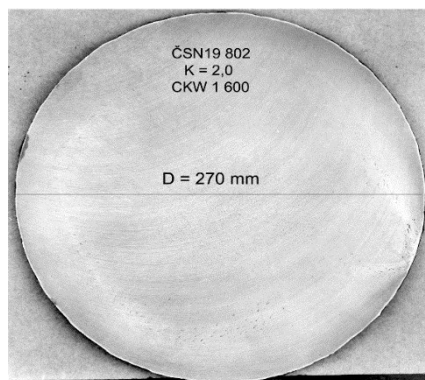
Značka oceli	Interval kovacíh teplot(°C)	Průměr ingotu (mm)	Průměr výkovku (mm)	PK	Použití oceli
19 436	1050-850	460	210	4,8	za studena
19 554	1100-850	400	115	12,1	za tepla
19 572	1050-850	470	250	3,5	za studena
19 662	1100-850	400	200	4,0	za tepla
19 712	1050-850	400	210	3,6	za studena
19 721	1150-850	460	210	4,8	za tepla
19 802	1100-900	310	210	2,2	rychlořezná

Tyče byly vykovány z ingotů různé hmotnosti na přibližně stejný průměr (tab. 7). Stupeň prokování vypočítaný pomocí rovnice (2) se pohyboval v intervalu 2,2 až 4,8.

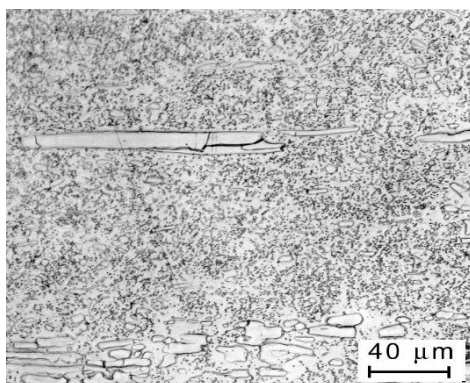
Na výkovech byla posuzována makrostruktura a mikrostruktura ve vybraných oblastech příčného průřezu a celkové rozložení primárních karbidů ve struktuře



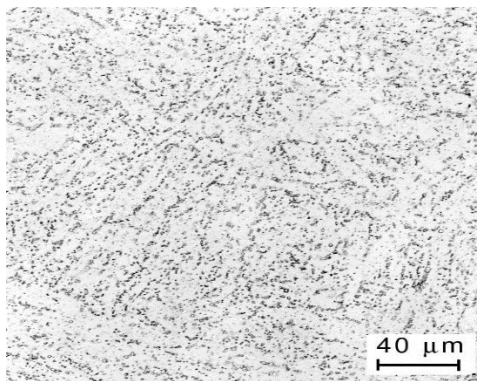
Obr. 4 Makrostruktura oceli ČSN 19 802 po kování na hydraulickém lise (7)



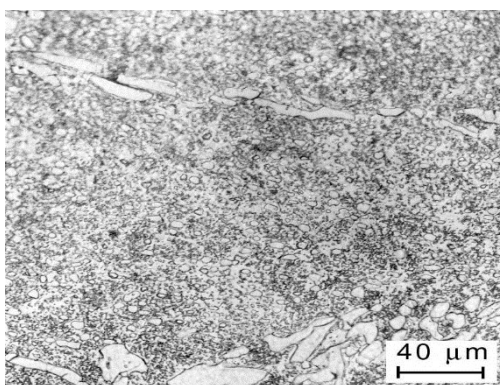
Obr. 5 Makrostruktura oceli ČSN 19 802 po kování na RKS (7)



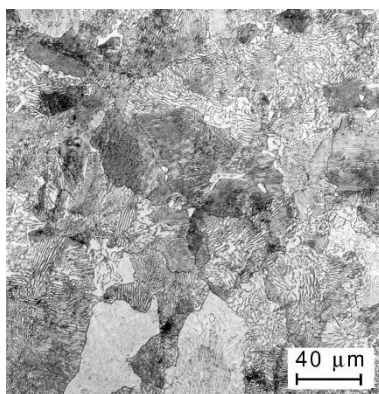
Obr. 6 Obrázek mikrostruktury nástrojových oceli 19 436 (7)



Obr. 7 Obrázek mikrostruktury nástrojových oceli 19 554 (7)



Obr. 8 Mikrostruktura a rozložení karbidů ve struktuře nástrojové oceli ČSN 19 572 (7)



Obr. 9 Mikrostruktura nástrojové oceli ČSN 19 662 (7)

Strukturní homogenita po průřezu kovaných tyčí je závislá nejenom na metalurgických vlastnostech vstupního polotovaru, ale také na použitém typu tvářecího stroje. Při porovnání makrostruktury tyčí (obr. 4,5) se jeví, že při kování na lise dochází při stejném stupni prokování k dokonalejšímu uzavírání pórovitosti v osových oblastech kované tyče (obr. 4). Při kování na hydraulickém lise je v ose kované tyče vyšší podíl smykových deformací. Při výpočtu stupně prokování podle

vztahu (2) se vychází z podílu příčných průřezů $K = S_o/S_k$. Pro výpočet stupně prokování v jednotlivých průchodech lze využít rovnici:

$$K = \frac{1}{1 - \varepsilon(1 - f)} \text{ Stupeň prokování v jednotlivých průchodech (7)}$$

kde ε je poměrná deformace, f je ukazatel šíření ($f = 0,19$ až $0,5$).

Součtem jednotlivých stupňů prokování podle rovnice (5) pak celkový stupeň prokování K_Σ je vyšší než uváděná hodnota K vypočítaná podle vztahu (4).

5.2 POSTUP KOVÁNÍ MATERIÁLU INCONEL 625

Tabulka 8 Tabulka hodnot při kování materiálu INCONEL 625 na RKS

Průchody	D0_12 [mm]	D0_34 [mm]	D1_12 [mm]	D1_34 [mm]	L0 [mm]	Prodloužení
0	770.0	770.0	770.0	770.0	1540.0	00
1	734.0	734.0	830.0	830.0	1691.0	1.10
2	690.8	690.8	794.0	794.0	1738.8	1.10
3	645.2	645.2	750.8	750.8	765.4	1.20
4	602.6	602.6	689.2	689.2	2023.8	1.20
5	562.8	562.8	646.6	646.6	2320.0	1.20
6	525.7	525.7	606.8	606.8	2659.6	1.20
7	491.0	491.0	569.7	569.7	3048.9	1.20
8	458.5	458.5	535.0	535.0	3495.1	1.20
9	428.3	428.3	502.5	502.5	4006.7	1.20
10	400.0	400.0	472.3	472.3	4593.1	1.20
11	372.2	372.2	460.0	460.0	6414.6	1.20
12	346.2	346.2	416.2	416.2	7407.0	1.20
13	315.0	315.0	406.4	406.4	8844.0	1.20
14	315.0	315.0	336.0	336.0	8840.0	1.00

Tab. 9 Chemické složení materiálu INCONEL 625 (v hm. %)

Prvky	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ta	Cb+Ta	Co	Mo	Fe	Al	Ti	Ni
Min (%)	-	-	-	-	-	20,0	-	3,15	-	8,00	-	-	-	58,00
Max (%)	0,1	0,5	0,50	0,015	0,015	23,0	0,05	4,15	4,00	10,00	5,00	0,40	0,40	

INCONEL 625 je slitina niklu a chrómu s příměsí molybdenu a niobu. Díky těmto přísadám má slitina lepší mechanické vlastnosti a větší odolnost proti korozi a přitom není nutné materiál kalit. INCONEL 625 se používá v pobřežním a leteckém průmyslu. Ingot je označen číslem tavby napsaným barvou na těle ingotu. Ingot je sazený do pece "Z,, koncem k budoucímu ražení, což znamená, že po vytažení z karuselové pece bude "Z,, konec směrem ke kovádlu.

Kování začíná vsazením ingotu do studené pece, kde se materiál nahřeje na 800°C. Potom je prodleva na teplotě trvající 4-6 hodin a znovu vložení do pece, kde se ingot nahřeje na 1180°C. Minimální prodleva na HKT je 11 hodin a maximální prodleva je 18 hodin. Dokovací teplota je 1010°C a kove se dle programu INCONEL. Pokud vyhovuje povrch materiálu a také teplota kování, pokračuje se hotovným kovááním. Jestliže bude během operace kování přerušeno, materiál se znovu vloží do karuselové pece, kde se polotovar opětně dohřeje na 1180 °C a probíhá dokování na konečný rozměr.

Po vykování se materiál posílá na pracoviště řezání, kde se pomocí kotoučové pily odřežou konce materiálu (na obou koncích 100 mm). Řezání probíhá za tepla. Chlazení probíhá na vzduchu na pracovišti RKS.. Dále se materiál posílá na pracoviště odokujení, kde se pomocí tryskacího stroje zbaví povrch materiálu nečistot. Hrubování probíhá také proto, aby se mohla udělat UZ zkouška.

Tab. 10 Tabulka hodnot tepelného zpracování dle požadavků odběratele (6)

Stav		Teplota	Výdrž na teplotě	Chlazení
Stupeň 1	Žíhaní	870°C min Do 254 mm	0.5 – 1 hodina	Kalení ve vodě nebo rychlé ochlazení na vzduchu.
Stupeň 2	Rozpouštěcí žíhaní	1090°C min	0.5 – 1 hodina	

5.2.1 VÝPOČET ZMĚN PŘI KOVÁNÍ MATERIÁLU INCONEL 625 NA RYCHLOKOVACÍM STROJI SMX-800

Výpočet se provedl podle jednotlivých vzorců:

$$\Delta h = D_0 - D_1 \text{ [mm]} \quad (6)$$

$$\varepsilon_h = \frac{D_0 - D_1}{D_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{D_1}{D_0} \quad (8)$$

Kde Δh je velikost absolutního úběru, v jednotlivých průchodech, D_0 je počáteční průměr a D_1 je výchozí průměr (1) . Pomocí vzorce č. (2) vypočítáme poměrnou deformaci, kterou vyjádříme v procentech. Vzorec č. (3) nám vyjádří nárůst délky po každém průchodu.

Tab. 11 Udávající vypočítané hodnoty, při kterých se mění tvar materiálu

Průchody	Absolutní úběr [mm]	Poměrná deformace [%]	Prodloužení
1	Kalibrace stroje		
2	36	4,3	1.10
3	43,2	5,4	1.20
4	61,6	8,2	1.20
5	42,6	6,18	1.20
6	39,8	6,15	1.20

7	37,1	6,11	1.20
8	34,7	6,09	1.20
9	33	6,07	1.20
10	29,7	6	1.20
11	12,3	2,6	1.20
12	43,8	9,5	1.20
13	9,8	2,35	1.20
14	70,4	17,32	1.00

6 POLOTOVARY KE KOVÁNÍ

Ke kování na SMX-800 je možno využít klasické kovárenské ingoty (polygonální, kruhové) nebo kontislitky. Zkušenosti jsou i s elektrostruskově přetavovanými ingoty používanými pro zvlášť speciální výrobu (letectví, lékařství).

Sortiment ingotů je vyráběn v modernizované ocelárně, kde jsou k dispozici následující výrobní agregáty:

- elektrická oblouková pec 70 tun
- elektrická oblouková pec 30 tun
- sekundární metalurgie

Odlévání ingotu probíhá u všech případů spodem. Ingoty bývají od 2 do 190 tun.

Ingoty, které se používají u tváření jsou tyto:

- Polygonální ingoty určené pro volné kování do hmotnosti 190 tun
- Dlouhé kruhové ingoty zejména pro válcování do hmotnosti 23 tun
- Krátké kruhové ingoty určené pro výrobu trubek
- P typy pro výrobu tlustých plechů do hmotnosti 38 tun
- Materiály – různé druhy dle požadavků zákazníků i v různých modifikacích



Obr. 10 Polygonální ingot (8)

6.1 POLYGONÁLNÍ INGOTY V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8

Tab. 12 polygonální ingoty V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8 (4)

Parametry (mm)															
Typ ingotu	průměry (mm)													Hmotnost těl (kg)	Celková hmotnost
	A	A1	A2	B	B1	B2	V	V1	V2	V3					
	V2EX	425	-	-	470	390	390	1560	1360	200	-	1820	2030		
	V3EX	500	-	-	545	460	460	1500	1290	210	-	2320	2560		
V4EX	580	-	-	630	550	550	1385	1175	210	-	2860	3150			
V5EX	630	-	-	680	590	590	1500	1280	220	-	3610	4000			
V6EX	685	-	-	730	660	660	1650	1420	230	-	4760	5360			
V7EX	135	-	-	775	700	700	1605	1375	230	-	5330	6050			
V8EX	735	-	-	785	700	700	1910	1670	240	-	6540	7190			

7 POPIS VAD NA POLOTOVARECH URČENÝCH PRO KOVÁNÍ

Vady můžeme rozdělit na vady kovářenské a vady ocelářenské. Hlavními příčinami vzniku vad v ingotu mohou být vysoká porezita kovů a vysoká odlévací teplota.

1. Vady kovářenské:

Kovárenské přeložky

Vznikají při kování z velkým záběrem a úběrem materiálu, nebo při poškození kovacího nástroje

Příčné trhliny

Nedostatečná teplota tváření, velký úběr a záběr při kování

Podélné trhliny

Nedostatečné ošetření po kování.

Středové trhliny

Trhliny ve středu výkovku (kovářský kříž). Nedostatečná teplota, nedodržení meziohřevu, velký úběr materiálu. Výskyt u kování nástrojových ocelí.

Sít'ové trhliny v podélném i příčném směru

Spálený povrch ingotu, nedodržená HKT, nebo naopak hluboce podkročená dokovací teplota.

Jedná se o vady, které vznikly přímo u kování. Nejčastěji se jedná o osové a příčné trhliny, praskliny, přeložky.

2. Vady ocelářenské:

Vady vznikající při odlévání ingotu. Objevují se na povrchu ingotu.

Šupiny na ingotu – vada se projevuje tak, že na celém nebo na části povrchu těla ingotu jsou zalité rozstříkané kapky kovů.

Sít'ové trhliny – jedná se o drobné sít'ové přerušované trhliny na části nebo po celém povrchu těla ingotu.

Rozdělení vad na Ingotu:

1. Studené ingoty (řízeně vychlazené dodané na pracoviště kovárny)

Tyto vady jsou vidět na ingotu už před tvářením. Jedná se hlavně o trhliny a přeložky. Tyto vady mohou vznikat už při odlévání ingotu a jsou vidět na povrchu materiálu. Hlavními příčinami vzniku těchto vad jsou vysoká porezita odlévaného ingotu a vysoká odlévací teplota, která je hlavní příčinou při vzniku segregací. Další vady mohou být trhliny, přeložky, praskliny.



Obr. 11 Trhlina viděná na ingotu z označením ES4654

2. Teplé ingoty (dodané ingoty na pracoviště kovárny s teplotou, která nepodkročila 500 °C) a splňuje předepsanou prodlevu dodání od stripování z kokily.

Jedná se o vady, které nejsou velmi často vidět na studených ingotech. Ve většině případech dochází u kování k problémům, které znamenají buď více vypalování povrchových trhlin a nebo úplnou destrukci ingotu. Hlavním problémem u teplých ingotů se ukázal nalepený písek na polích ingotu, které jsou viditelné na obrázku č. 3



Obr. 12 nalepený písek na těle ingotu u teplého ingotu.

Většina vad na ingotech, kterým říkáme ingoty se sníženou nebo vůbec žádnou tvářitelností, můžeme popsat jako ingoty, kdy se vady projevují až při kování, kdy se po vnesené deformaci utvoří příčné trhliny, objevující se vesměs po celém obvodu těla ingotu. Tyto vady se objevují z důvodu nerovnoměrné rychlosti lití nebo velmi krátkém přerušení lícího proudu při plnění kokily. Přelití povrchové vrstvy hladiny kovu vyvolává při tuhnutí přídavná napětí, která narušují vnitřní homogenitu povrchové kůry. Dalším důležitý faktorem, při kterém dochází ke vzniku vad je přehřátí oceli, kdy dojde k natavení hranic zrn. Tyto vady se dají odstranit opětovným tvářením oceli. Velký problém u ingotu se týká nedolitých hlav a staženiny v hlavě ingotu (obrázek 8).



Obr. 13 Staženina v hlavě ingotu

7.1 VADY NA POVRCHU INGOTU OVLIVNĚNÉ PROCESEM TUHNUTÍ OCELI V KOKILE. (9)

Sít'ové trhliny - Jde o drobné, sít'ové, trhliny na části nebo po celém těle ingotu.

Příčné trhliny – Jde o rozevřené trhliny přes hranu ingotu s krátkým přechodem do plochy těla.

Místní příčné trhliny na stěně ingotu – jde o místní, ojedinělé, příčné, mírně zvlněné trhliny. Mohou souviset s výskytem místních segregací a nečistot.

Rozevřené příčné trhliny – jde o různé hluboké a rozevřené trhliny, které nejsou ukončené dnem. Mají výrazně hrubozrnnou strukturu a zálomkovitý průběh.

Příčná trhlina pod hlavou ingotu – vada se projevuje jako mírně zvlněná, zálomkovitě přerušovaná příčná trhlina v blízkosti horní hrany těla ingotu. Trhlina může proniknout šikmo nebo příčně do značné hloubky.

Podélná trhlina na ploše těla ingotu – vada se projevuje jako podélná, přerušovaná, různě dlouhá zálomkovitě probíhající trhlina na jedné ploše těla ingotu ve směru podélné osy.

Přerušované lití ingotu – vada se projevuje jako výrazná příčná necelistvost na celém obvodu těla ingotu v různé výšce. (9)

8 ANALÝZA MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ VÝKOVKŮ KOVANÝCH NA RADIÁLNÍM KOVACÍM STROJI A NA HYDRAULICKÉM LISU.

Materiál jakosti 11 523

Vychlazení i tepelné zpracování bylo pro obě varianty na kalírně rychlokovacího stroje. Vychlazení probíhá v obou případech pod poklopem a potom následuje normalizační žihání při teplotě 905 °C. Následuje vychlazení na vzduchu.

Tab. 13 Chemické složení (v hm. %)

C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al
0,16	1,46	0,23	0,01	0,001	0,19	0,14	0,061	0,15	0,031

Rychlokovadlo SMX-800 (průměr 310 mm)

Tabulka 14 tahová zkouška materiálu 11 523 po kování na rychlokovacím stroji

SMX-800

Tahová zkouška			
Mez kluzu (Re)	Pevnost v tahu (Rm)	Prodloužení (A)	Zužení (Z)
MPa		%	
368	554	31,4	66,4

Tabulka 15 Zkouška rázem materiálu 11 523 po kování na rychlokovacím stroji SMX-800

Zkouška rázem		
Typová zkouška	Teplota	Energie nárazu J
KV2	-20	123
		169
		133
KV2	-50	62
		149

		101
--	--	-----

Hydraulický lis CKW-1600 (průměr 320 mm)

Tab. 16 Tahová zkouška materiálu 11 523 po kování na hydraulickém lise CKW-1600

Tahová zkouška			
Mez kluzu	Pevnost v tahu	Prodloužení	Zužení
MPa		%	
349	519	28,6	67,5

Tabulka 17 Zkouška rázem materiálu 11 523 po kování na hydraulickém lise CKW-1600

Zkouška rázem		
Typová zkouška	Teplota	Energie nárazu J
KV2	-20	192
		185
		233
KV2	-50	141
		139
		113

Rozdílné výsledky mohou být z důvodu jiného průměru ingotu. Další rozdíl je v použití pokaždé jiného ingotu. U rychlokovacího stroje SMX-800 se použil ingot V5F o kovaném průřezu 310 mm, s prokováním materiálu 4,7-a u hydraulického lisu CKW-1600 se použil ingot V6F s kovaným průřezem 320 mm, s prokováním materiálu 4,9

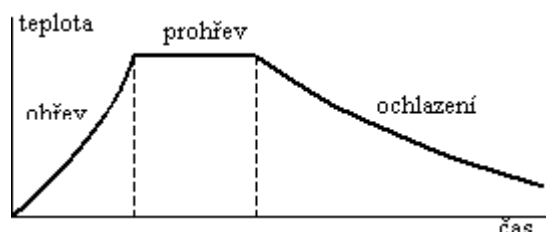
Odběr vzorků pro mechanické zkoušky v příčném směru z hloubky 1/4 D a vzdálenosti 90 mm od konce.(tzv. tepelná bariéra kvůli eliminaci ovlivnění hodnot vlivem rychlejšího ochlazování konců oproti zbytku tyče).

U SMX-800 $D=310$ mm se odebírá vzorek z jednoho konce tyče, u CKW-1600 $D=320$ se odebírá vzorek z obou konců, může se ale použít jen jeden.

9 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ A ZKOUŠENÍ VÝKOVKU

9.1 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

Účelem tepelného zpracování je dosažení požadovaných mechanických a technologických vlastností kovových materiálů. Průběh tepelného zpracování se skládá z ohřevu na vhodnou teplotu, setrvání na této teplotě, což znamená prohřátí materiálu a následné ochlazení. Tento postup se může vícekrát opakovat.



Obr. 14 Průběh tepelného zpracování
(10)

Jednotlivé tepelné zpracování se od sebe může lišit rychlostí a průběhem ohřevu, konečnou výškou teploty ohřevu, dobou setrvání na dané teplotě a rychlostí ochlazování.

Rychlost ohřevu a průběh ohřívání závisí na účelu tepelného zpracování. U některých postupů je nutný pozvolný ohřev, při němž rozdíl mezi teplotou povrchu a teplotou vnitřku materiálu není příliš velký. V těchto případech se ohřev provádí v pecích s regulovanou teplotou. Jiné postupy tepelného zpracování vyžadují velmi prudký ohřev povrchu kovů.

Tepelné zpracování oceli:

Tepelné zpracování oceli je založeno na řízené difuzi atomů materiálu. Z tohoto hlediska je možno tepelné zpracování rozdělit do dvou základních skupin:

- Způsoby, při kterých je difuze podporována
- Způsoby, při kterých je difuze potlačována (do této skupiny patří především kalení).

Podporována difuze – děje probíhají tak pomalu, že stav soustavy je blízky rovnováze. Patří zde režim žhání.

Potlačovaná difuze – pro tento způsob je typický rychlý průběh teplotních změn, při kterém je vlivem setrvačnosti materiálu rovnováha soustavy porušena. Důsledkem je zpomalení některých procesů.

Z hlediska výšky teploty lze tepelné zpracování rozdělit na postupy:

- Bez překrystalizace, u některých je zachována feritická a perlitická struktura
- S překrystalizací, u kterých je feritická a perlitická struktura ohřevem převedena na austenitickou. Tento postup se nazývá austenitizace.

Bez překrystalizace:

Probíhají pouze dílčí procesy v krystalické struktuře, spojené se změnou velikosti, formy a vzájemné polohy krystalů.

S překrystalizací:

Dochází k zásadním změnám struktury v důsledku přeměny modifikace kovu

Velmi pomalé změny probíhající při ochlazování austenitu popisuje rovnovážný diagram. Rychlé změny jsou spojeny s potlačením rovnovážných přeměn. Austenit může být zachován i pod teplotou A_1 .

Žihání oceli

Cílem žihání oceli je zpravidla jejich uvedení do stavu blízkého rovnováze. Proto se při žihání užívá rovnoměrného a pomalého ohřevu, dlouhé doby prohřátí a pomalého ochlazování. Žihání je možno podle užití teploty ohřevu rozdělit do dvou skupin (žihání bez překrystalizace žihání s překrystalizací).

Žihání bez překrystalizace:

Při teplotách nižších než A_1 , ke kterým patří nejčastější způsoby žihání:

- Ke snížení pnutí
- Rekrytalizační
- Na měkko (měkké)

Žíhání s překrystalizací

Při teplotách vyšších než A_1 , ke kterým patří nejčastější způsoby žíhání

- Normalizační
- Izotermické
- Homogenizační

Žíhání na odstranění pnutí

Cílem tohoto postupu je odstranit nebo alespoň snížit pnutí uvnitř materiálu, které vzniklo jako důsledek předchozího zpracování (tváření, svařování, obrábění, nerovnoměrného chladnutí oceli). Teplota ohřevu je 500 až 650 °C.

Žíhání rekrystalizační

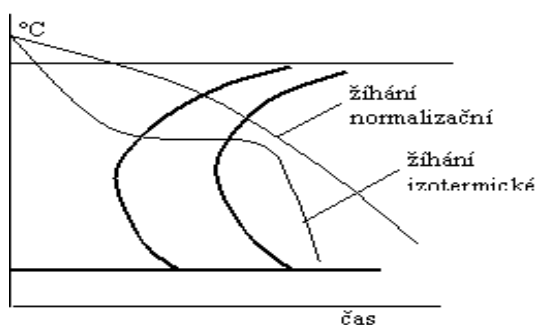
Hlavním cílem žíhání na měkko je zlepšení obrobiteľnosti materiálu. U podeutektoidních ocelí probíhá žíhání při teplotách pod A_1 , rozmezí 680 až 700 °C. U ocelí nadeutektoidních se užívá kolísavého ohřevu

Normalizační žíhání

Je nejčastěji používaným a nejdůležitějším postupem. Většinou se užívá pro podeutektoidní ocele. Jeho cílem je dosažení rovnoměrné a jemné struktury bez vnitřních pnutí a s dobrými mechanickými vlastnostmi.

Izotermické žíhání

Používá se zejména u velkých výrobků ze slitinových ocelí, v jejichž struktuře došlo během tuhnutí k významné segregaci uhlíku a přísadových prvků. Cílem žíhání je dosažení homogenní struktury. Teploty ohřevu jsou 1000 až 1250 °C



Obrázek 15 srovnání normalizačního a izotermického žíhání (10)

9.1.1 KALENÍ OCELI

Účelem kalení je zvýšení tvrdosti oceli. Tohoto cíle lze ale dosáhnout i jinými způsoby tepelného a mechanického zpracování, kalení je způsobem nejčastějším.

U ocelí s obsahem uhlíku menším se vytváří jen malé množství martenzitu, které se v tvrdosti finální struktury výrazně neprojeví (martenzit je přesycený tuhý roztok uhlíku v železe, v grafu, obr. 16 pod označením „a“). Proto jsou oceli s obsahem uhlíku nižším než 0,2 % označovány jako nekalitelné.

Postup kalení je stejně jako ostatní způsoby tepelného zpracování složen z postupu fáze ohřevu, prohřátí a ochlazení.

Způsoby kalení

Kalení martenzitické

- Nepřetržité
- Přetržité lomené, termální, se zmrazováním

Kalení bainitické

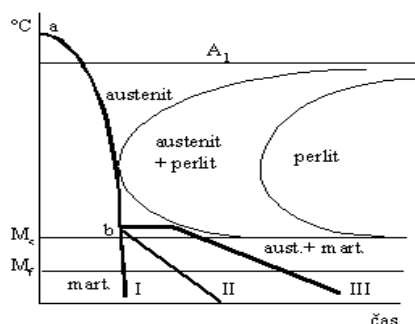
- Izotermické
- Nepřetržité

Martenzitické kalení

Čára I v diagramu IRA (ARA) znázorňuje průběh nepřetržitého kalení. Ochladuje se přímo z teploty bodu „a“ v jediném prostředí, nejčastěji ve vodě.

Čára II znázorňuje průběh lomeného kalení. Z teploty bodu „a“ se ochladuje nejdříve prudce jako v předchozím případě, aby nedošlo ke vzniku perlitu.

Čára III znázorňuje průběh tak zvaného termálního kalení.

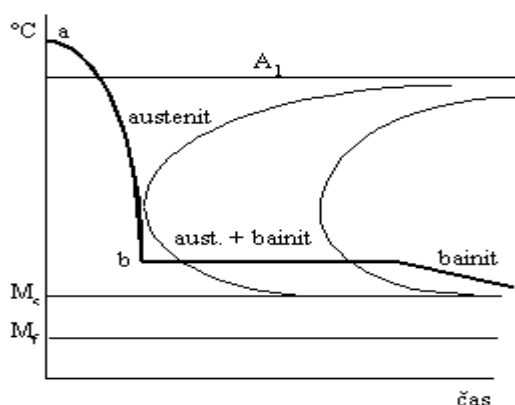


Obrázek 16 Průběh martenzitického kalení (10)

Bainitické kalení

Bainit je zvláštní formou perlitu vznikající při přeměně austenitu pod nosem křivek v diagramu IRA (ARA) obr. 17. Má vynikající vlastnosti. Jeho tvrdost se blíží tvrdosti martenzitu, ale na rozdíl od něj je bainit velmi houževnatý. Proto není třeba bainiticky kalené oceli na rozdíl od ocelí kalených martenziticky za účelem snížení křehkosti popouštět.

Při izotermickém bainitickém kalení se materiál ochladí dostatečně rychle do solné nebo kovové lázně na teplotu odpovídající bodu *b*, tedy pod nos křivky. V této lázni se předmět ponechá tak dlouho, až se austenit přemění na bainit. Pak se předmět z lázně vyjme a nechá dochladit na vzduchu.



Obrázek 17 Průběh bainitického kalení (10)

9.1.2 POPOUŠTĚNÍ OCELI

Cílem popouštění oceli je snížit jejich křehkost vzniklou při martensitickém kalení. Popouštění je založeno na částečné přeměně struktury materiálu při teplotách mezi 150 a 400 °C. Nežádoucím jevem spojeným s popouštěním je pokles tvrdosti zakaleného materiálu.

Zušlechťování ocelí

Cílem zušlechťování je dosažení sorbitické struktury vyznačující se vysokou pevností, houževnatostí a zvýšenou mezí kluzu. Princip zušlechťování spočívá ve spojení martensitického zakalení oceli a jejího následného popouštění na teploty vyšší než 400 °C.

Povrchové kalení

Metoda je založena na tak rychlém zahřátí povrchu materiálu, že pouze povrchová vrstva žádané tloušťky dosáhne teploty vhodné pro kalení a po ochlazení se zakalí. Ve větších hloubkách materiálu je feritická a perlitická struktura, která se při ochlazení nezmění.

Oceli určené k povrchovému kalení musí být samy o sobě dobře kalitelné. Vhodné jsou oceli s 0,45 až 0,6 % uhlíku.

9.2 ZKOUŠENÍ VÝKOVKŮ

Mechanické zkoušky materiálu

Mechanické vlastnosti běžných oceli jsou uvedeny v tabulce a jsou zde uvedeny nejnižší hodnoty a určí se podle obrázku 18.

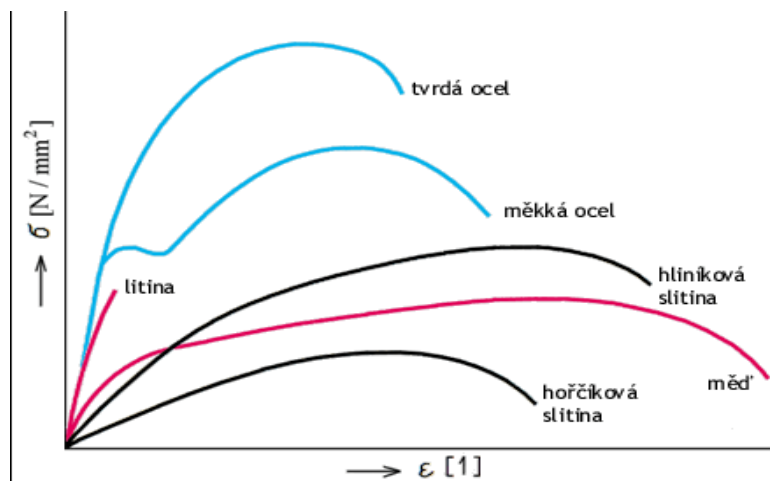
Z hlediska působení síly na zkušební těleso rozdělujeme mechanické zkoušky na statické, dynamické a zvláštní technické zkoušky.

Mechanické zkoušky statické

Základem těchto zkoušek jsou zkoušky pevnosti. Podle působení zatěžující síly rozdělujeme tyto zkoušky na zkoušky pevnosti v tahu, tlaku, ohybu, krutu a stříhu.

9.2.1 ZKOUŠKY PEVNOSTI

Zkouška tahem (trhací) možná grafické znázornění.



Obrázek 18 Znázornění zkoušky tahem u jednotlivých druhů oceli (11)

Je nejrozšířenější statickou zkouškou. Je nutná téměř u všech materiálů, protože jí získáváme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Zkoušky se nedělají na vyrobené součásti ale na zkušebních tyčích.

U všech statických zkoušek vzniká v materiálu napětí. Je to míra vnitřních sil, které vznikají v materiálu působením sil vnějších. Napětí rozeznáváme normálové (tah, tlak, ohyb) a tečné (smykové)

Pevnost v tahu – je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly, kterou snese zkušební tyč a původního průřezu tyče.

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \text{ (MPa)} \quad F_m - \text{největší zatěžující síla}$$

S_0 – průřez materiálu

Pevnost v kluzu – je napětí, při němž se zkušební tyč začne výrazně prodlužovat, aniž by stoupala zatěžující síla, nebo při němž nastává prodlužování doprovázené poklesem zatěžující síly.

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \text{ (MPa)}$$

Mechanické zkoušky dynamické

Strojní součásti namáhány zatížením, jehož velikost a smysl se prudce, popřípadě opakovaně mění. Údaje o chování takto namáhaného materiálu nemůžeme zjistit statickými, ale dynamickými zkouškami. Při tomto namáhání dochází často k náhlému porušení materiálů, i když zatěžující síla ještě nedosáhla statické pevnosti materiálu. (11)

Zkouška rázem (KV)

Slouží k zjištění, kolik práce nebo energie se spotřebuje na porušení zkušební tyče. Rázem lze zkoušet pevnost v tahu, tlaku, ohybu a nebo krutu.

Zkouška rázem v ohybu K(U,V)

Je nejpoužívanější zkouška a je dobrým ukazatelem houževnatosti nebo křehkosti materiálu. Nejpoužívanější je zkouška vrubové houževnatosti na Charpyho kyvadlovém kladivu. Těžké kladivo, otočné kolem osy, se zdvihne a upevní v nejnižší poloze kladiva. Zkušební tyč ze zkoušeného materiálu se umístí ve stojanu kyvadlového kladiva. (11)

Po uvolnění z počáteční polohy se kladivo pohybuje po kruhové dráze, narazí na zkušební tyč, přerazí ji a vykývne do konečné polohy. Tato poloha je nižší než poloha počáteční, protože na přeražení tyče se spotřebovala určitá práce. (11)

$$\text{Vzorec:} \quad K(U, V) = E_1 - E_2 = G \cdot (h_1 - h_2) \text{ [J]}$$

Zkoušky tvrdosti

Tvrdost má hlavně u kovových materiálů mimořádnou důležitost, neboť ze všech vlastností materiálu ji můžeme zjistit nejrychleji a i na předmětech nejmenších rozměrů. Zkouší se buď na zkušebních vzorcích nebo přímo na hotových výrobcích.

Dělení zkoušek tvrdosti

- Statické
- Dynamické
- Vrypové
- Vnikací

Zkouška vrypová - dnes se používá jen pro tvrdé a křehké materiály

Zkouška vnikací – nejpoužívanější zkouškou tvrdosti materiálu. Při této zkoušce zatlačujeme do zkušebního materiálu velmi tvrdé těleso (kulička, kužel, jehlan) a měřítkem tvrdosti je velikost vzniklého vtisku.

Zkouška tvrdosti podle Brinella (HB)

Tvrdost zjišťujeme vtlačováním kalené ocelové kuličky rovnoměrně stupňovanou silou, po určitou dobu, do lesklé rovné plochy zkušebního vzorku nebo zkoušené součásti. Zkouší se na Brinellově tvrdoměru

Tvrdost podle Rockwella

Zjišťujeme na Rockwellově tvrdoměru. Ocelovou kuličku, dotýkající se povrchu zkoušeného předmětu, nejprve zatížíme určitou silou. Potom zvolna zvětšujeme zatěžovací sílu tak, abychom za určitou dobu dosáhli zatížení předepsané normou. Potom opět snižujeme až na výchozí sílu a v tomto stavu zjistíme hloubku vtisku, který nastal proti výchozí poloze. Zkoušku tvrdosti podle Brinella můžeme označovat jako **HRC, HRA, HRB**. Volba závisí hlavně na tvrdosti zkoušeného materiálu

HRC - Tvrdost určená diamantovým kuželem (C = cone) při celkovém zatížení 1500 N. Doporučuje se používat pro rozsah HRC = 20 - 67.

HRB

Tvrdost určená ocelovou kuličkou (B = ball) při celkovém zatížení 1000 N. Pro měkké kovy (25 - 100 HRB).

HRA - Tvrdost určená diamantovým kuželem při celkovém zatížení 600 N. Pro slinuté karbidy a tenké povrchové vrstvy.

10 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo popsat způsob výroby nástrojových ocelí a slitiny inconel na rychlokovacím stroji SMX-800.

Dále tato práce popisuje rozdíly v kování na hydraulickém lise CKW-1600 a rychlokovacím stroji SMX-800, na vzorovém polygonálním ingotu V6F jakosti 19 663. Při kování na rychlokovacím stroji probíhá kování daného polotovaru po vytažení z karuselové pece v jednom žáru a středního průřezu ingotu na finální rozměr se dostáváme za zhruba 18 minut. Operace je zakončená odřezáním technologického odpadu a naražením identifikačních znaků. Vše probíhá v automatizované lince a dosahujeme stabilních kovacích teplot i při jednotlivých kovacích operacích, u kování je potlačeno šíření ve prospěch prodloužení materiálu ve výkovku. Při kování téhož polotovaru ze stejným finálním rozměrem na hydraulickém lise CKW-1600 dochází již při manipulaci s polotovarem před kováním k tepelné ztrátě, což způsobí, že kování musí proběhnout s mezhřevem. Z toho vyplývá energetická náročnost a větší časová spotřeba kovacího času. Mluvím zde o 60 minutách kování, agregát rychlokovacího stroje SMX-800 potřebuje na vykování stejného výkovku jen 30% kovacího času hydraulického lisu CKW-1600. Po dokování na hydraulickém lise dochází k ručnímu (kovářskému) odseku technologického odpadu, z čehož vyplývá náročnost na náradí a samozřejmě lidskou sílu. Jen ve srovnání v číslech to znamená, že celou linku SMX-800 obsluhují čtyři lidé a u CKW-1600 je zapotřebí 6-8 lidí (dle rozměru výkovku a použitých ohřívacích pecí na středisku kovárna). Z toho vyplývá, že produktivita u SMX-800 je mnohonásobně vyšší. Navíc nám dovoluje kovat materiály například INCONEL 718, INCONEL 625, nebo titan GR5, což u CKW-1600 nepřípadá v úvahu.

Tato práce se dále zabývá popisem vad a to jak ocelářských tak i kovárenských, které vznikají při tváření kovů. Vzhledem k již popisovaným výhodám kování na rychlokovacím stroji, ať už je to zmíněná rychlost kování a stabilní teplota, můžeme si dovolit kovat materiál s horším povrchem odlitého ingotu. Případné povrchové vady se řeší vyššími hrubovacími přídávky, což u kování na hydraulickém lise CKW-1600 nebylo možné a muselo proběhnout po předkovu řízené vychlazení materiálu a následně mezioperační hrubování. Tyto operace jsou energeticky velmi náročné a navíc dochází k úbytku materiálu. Samozřejmě takto nelze řešit všechny typy vad na ingotech, ale v případě kování na SMX-800 obvykle stačí tyto vady místně vybrousit.

Porovnání mechanických vlastností kovaných na již obou zmíněných kovacíh zařízeních z posuzované jakosti 11 523 nepřineslo výraznějších rozdílů. U těchto uhlíkových jakostí jde spíše o ekonomický přínos v rychlosti kování a nižších přídavek opracování.

Koncepce kovacího souboru SMX-800 byla od počátku projektována jako linka a toto se týká i tepelného zpracování. Tepelné zpracování firmy Vítkovice Hammering a.s. byli osazeny nejmodernějšími žihacími a kalicími pecemi firmy Andritz Maerz, kde je možno provádět tepelné zpracování většiny jakostí. Toto je doplněno vodními nádržemi pro kalení a samozřejmě zde nechybí polymer. Toto vše je podtrhnuto přesnými a rychlými manipulátory, které jsou počítačově řízené a velmi urychlují celý proces tepelného zpracování.

Po ukončení tepelného zpracování zkontroluje jeho správnost akreditovaná zkušebna, kde proběhnou veškeré zkoušky požadované pro danou jakost, které můžou být rozšířeny o požadavky odběratelů dle jejich potřeb. Jedná se o zkoušky mechanické (vrubová houževnatost, tvrdost), materiálové (chemické složení) popřípadě speciální, hlavně u titanových a slitin niklu zvaných inconel, kde jejich největší využití je v leteckém a zdravotnickém průmyslu.

11 BIBLIOGRAFIE

1. KIJONKOVÁ, E., <http://www.vitkovice.cz/news/press/detail/id/39/lang/cs/site/9>. [Online] 2011. [Citace: 5. Duben 2014.]
2. GHAEI, A. Study of the effects of die geometry on deformation in the radial forging process. 2005. Sv. Processing technology, 2005, vol. 170, 156-163.
3. NIESCHWITZ, KNAUF, P., PELSTER, F., Advanced hydraulic radial forging machines from SMS Meer. 4. Hammering, Vítkovice. Manual rychlkovacího stroje SMX-800. Ostrava : Vítkovice-Hammering, 2014. Sv. 1.
5. VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY. Technická specifikace pro hydraulický radiální kovací stroj SMX-800,
6. URL: GL3, Aeroval. www.acciaierie-valbruna.com. [Online] [Citace: 14. Květen 2014.]
7. GREGER, M., Kování nástrojových ocelí na radiálních kovacích strojích. místo neznámé : Kovárenství, 2013. Sv. č. 47, s. 37-41.
8. URL: <http://www.vitkovicemachinery.com> . [Online] 2014. [Citace: 5. březen 2014.] <http://www.vitkovicemachinery.com/18/cs/node/422>.
9. ZELNÍČEK, F., Sborník přednášek, kovárenská konference.
10. HAMERNÍK, J., jhamernik.sweb.cz, Základy tepelného zpracování kovů http://jhamernik.sweb.cz/tepelne_zpracovani.htm.
11. URL: [Online] [Citace: 22. Duben 2014.] <http://www.ateam.zcu.cz>.
12. SMS-MEER. SMX radial forging machines. místo neznámé : www.sms-meer.com, 2012. Sv. 1-24.
13. PIHL, H., INCONEL, 625. <http://www.haraldpihl.cz/produkty/inconel-625>.
14. VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY, www.vitkovice.cz. [Online] [Citace: 25. Duben 2014.] <http://www.vitkovice.cz/news/press/detail/id/39/lang/cs/site/9>.

